

早川和宏<sup>1</sup>・由比政年<sup>2</sup>

## Kazuhiro Hayakawa • Masatoshi Yui

Long-term variations of seabed elevation near Tedoru river mouth, Japan, have been investigated using a set of field surveys collected over 40 years. The focus is placed on the formation and migration of nearshore bars. The height of offshore bars becomes as high as 5m at its maximum. The variation of the cross-shore bar location is examined in detail. For the time variation, it is shown that the cross-shore periodic movements have been repeated several times with about 8 to 10-years cycle. Superimposed on periodical migration, the outer bar position has a clear onshore trend in longer time scale of several decades. These onshore trends of the offshore limit of bar-migration zone are asymmetric with respect to the river mouth. In the left of the river mouth, which corresponds to the downdrift side of littoral sediment transport, the retreating features are more significant, while the trend is relatively weak in the right.

石川海岸は、日本海に面し、白山に源を発する手取川を主要な土砂供給源とする、総延長 18.5km の海岸である(図-1)。図-2 は、石川海岸松任地区徳光沖合 1500m 地点(水深約 15m)に設置された海象計で、波高および波向を観測した結果を示している。これによると、夏期の波向は N~W と広範であり、NNW~NW にやや卓越する。波高は有義波高 1m 以下のものが多く、平穏な様相を呈する。冬期の波向は NW~W に卓越し、有義波高 1m 以上の高波浪が頻繁に来襲する。春期及び秋期は遷移期間となっているが、高波浪の出現頻度は秋期の方が高い。年最大有義波高は、5~8m 程度に達する。国土交通省金沢河川国道事務所資料、あるいは、田中ら(1997)の研究によると、波による沿岸漂砂は、図-3 のように冬期には北向き、夏期は逆転して南向きに卓越し、通年では南向きに卓越する。また、水深 10m 以深では海岸線にほぼ平行な海岸流が存在しており、この流れは年間を通じて北向きの頻度が強い。ため、沖合に流出した土砂はこの流れに乗って、沿岸漂砂と



图一-1 石川海岸位置图

<sup>1</sup> 石川県土木部 : Civil Engineering Department, Ishikawa Prefecture,  
1-1 Kuratsuki, Kanazawa, Japan, Zip.920-8580

<sup>2</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科環境科学専攻 : Department of Civil Engineering, Kanazawa University, Kakuma-Machi, Kanazawa, Japan, Zip. 920-1192

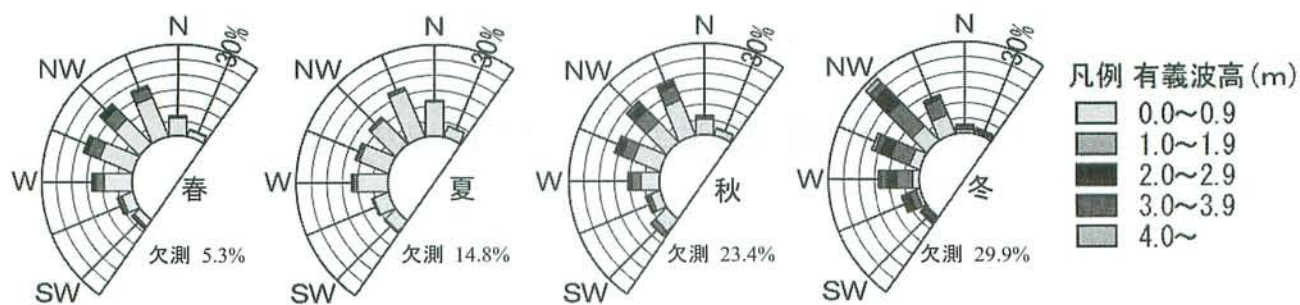


図-2 徳光観測所における波浪の方向別出現頻度

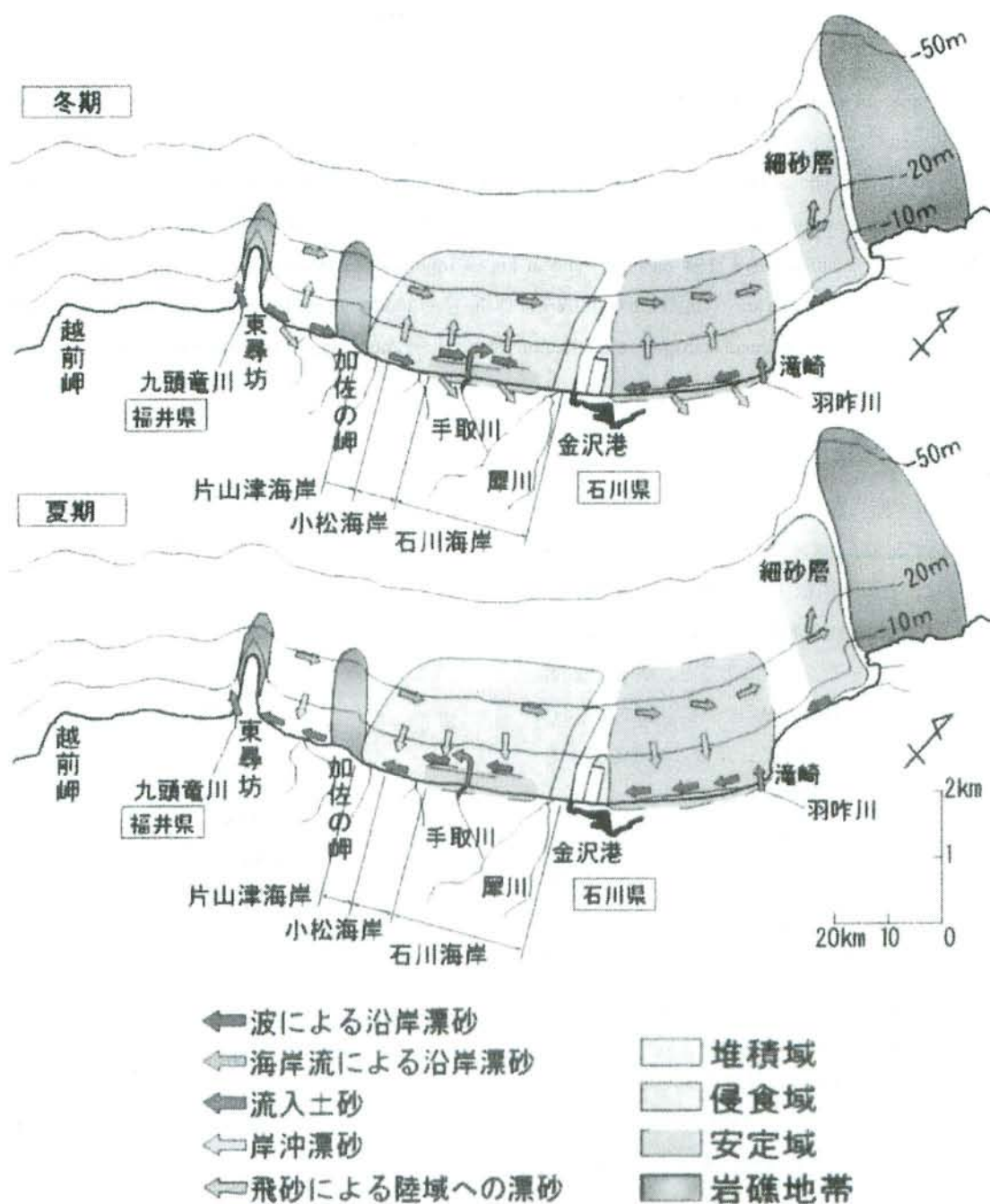


図-3 漂砂移動模式図 (国土交通省金沢河川国道事務所)



なっており、滝崎方面に向かっていると推定されている。岸沖方向の砂移動に関しては、冬期は高波浪の継続的な来襲により沖向き漂砂が卓越し、夏期は台風により短期的に沖向きに漂砂が移動する時期はあるものの、比較的静穏な時期であるため、沖向きに移動した漂砂が岸寄りに戻ってくる時期と判断されている。

近年、石川海岸は様々な原因によって長期的な侵食傾向にある。田中ら(1997)は、自然的・人為的な複合要因による土砂収支を検討する過程で、石川海岸とその周辺海域からの流出土砂を43.3万 $\text{m}^3$ /年と見積もり、根本的な土砂供給不足状態にあるとしている。宇多ら(2001)は、郷土史に基づいて、南部石川海岸の侵食原因を調査し、海岸侵食の主な原因は海浜部での砂利採取と新堀川河口での土砂浚渫であるとした。由比ら(2004)は、手取川における砂利採取や、ダム建設による出水の頻度及び規模の減少による、河川からの土砂供給量の変化が河口周辺の海底地形変動に与える影響を検討し、いずれの要因も小さくないとしている。

国土交通省金沢河川国道事務所の資料(図-4)によると、美川工区(手取川河口から右岸側及び左岸側にそれぞれ約3kmの範囲)においても、1960年から1969年にかけて海浜幅が約20~30m縮小している箇所があり、美川工区全体の海浜幅は、やや縮小傾向にあった。1970年から1979年にかけては、同工区の見積り幅の減少はさらに顕著になり、一部の堆積箇所を除いて、全体的に20~50m侵食された。同期間では、この侵食対策として10基余りの海岸構造物(離岸堤)が建造された。その結果、汀線近傍の侵食は緩和され、1980年から1991年にかけて海浜幅が約40m回復した。なお、同期間においても、20基近くの海岸構造物が建造された。しかしながら、1990年から2000年にかけては、同工区全体として海浜幅は依然として減少傾向にあり、松任地区沖合などでも、現在も依然として侵食が進行中(二木ら, 2004)である。1960年から2000年の全期間では、海浜幅の侵食と堆積はバランスしているが、手取川河口から両岸に5~10kmの範囲では侵食、それ以外では堆積が卓越し、2000年には40年前と比較して、汀線の様相が変化したことがわかる。

Wright・Short(1984)は、オーストラリアの26海岸における観測結果に基づいて、図-5に示すように沿岸地形の類型を6段階に分けて表した。石川海岸では大規模な沿

岸砂州が発達しており(大森ら, 1971; 武藤ら, 1992; 二木ら, 2004; 由比ら, 2006)、その海浜型は、この分類に従えば、(b)あるいは(c)(いずれも、大分類としてはIntermediate)に相当する。この砂州は、時間的に様々なスケールの変動を示す。武藤ら(1992)は、離岸堤と人工リーフ建設に伴う海浜変形とともに冬期高波浪による砂州の大規模変動について、現地観測に基づく検討を行い、2次元的な形状変化や土砂移動の特性について論じている。一方、二木ら(2004)は、大型離岸堤の効果追跡調査を実施し、10~15年程度を1サイクルとした砂州の岸沖変動が存在することを指摘している。由比ら(2006)は、松任地区における沿岸砂州の長期変動特性を解析し、対象領域全域において砂州は多段であること、さらに、沖側砂州は最大で6m程度の比高を有し、10年前後の周期で岸沖方向位置を変動させていることを確認した。本研究ではこうした長期時間スケールにおける変動に着目する。

## 2. 解析結果および考察

本研究では、国土交通省金沢河川国道事務所において、40年以上の長期間実施されてきた深淺測量結果に基づいて海底地形変化の解析を行った。今回使用したデータは1960年~2002年に取得されたものである。なお、測量は、年に1回、主に秋季(10月初旬)に実施されている。まず、沿岸方向5.3km(図-6)の範囲の中から、手取川の河口周辺(約1.9km)に着目することとし、約400m間隔で設置された6本の測線データ(No.12, 16, 20, 25-200, 27, 31)を用いて、計343個の砂州を抽出した。岸沖方向の測量範囲は、基点から1~3km程度であり、この内、基点から1kmまでのデータを使用した。

次に、砂州頂部とトラフでの水深の関係や、沖向きを正とした基点からの離岸距離、比高(砂州頂部高とトラフ底部高の差、図-7参照)の存在範囲など、個々の砂州形状に関する基本特性を検討した。解析にあたっては、測量誤差を考慮して、トラフ底部と砂州頂部の差(比高)が20cmより大きいもののみを砂州として抽出した。また、砂州頂部(あるいはトラフ底部)となる点の地盤高が2測点以上で一致(差が20cm以内)する場合には、離岸距離および地盤高として、該当測点間の平均値を取って対応した。

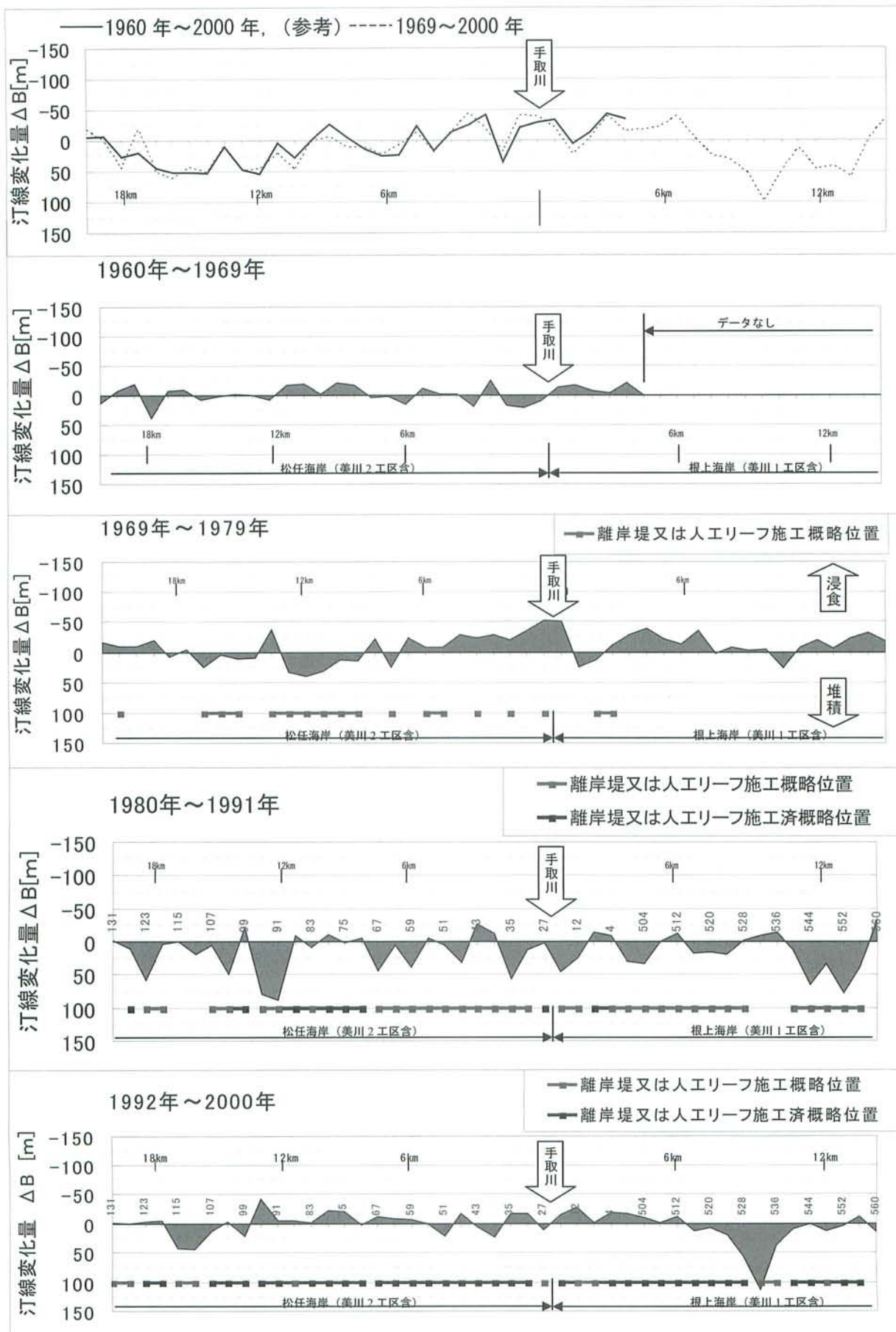


図-4 石川海岸の汀線変化 (国土交通省金沢河川国道事務所)



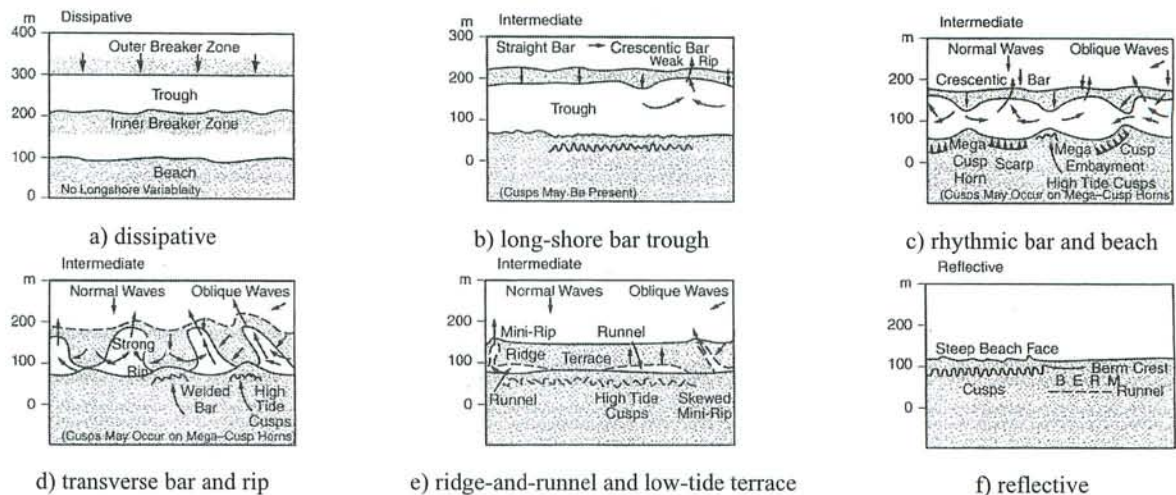


図-5 Wright・Short (1984) による海浜地形の分類

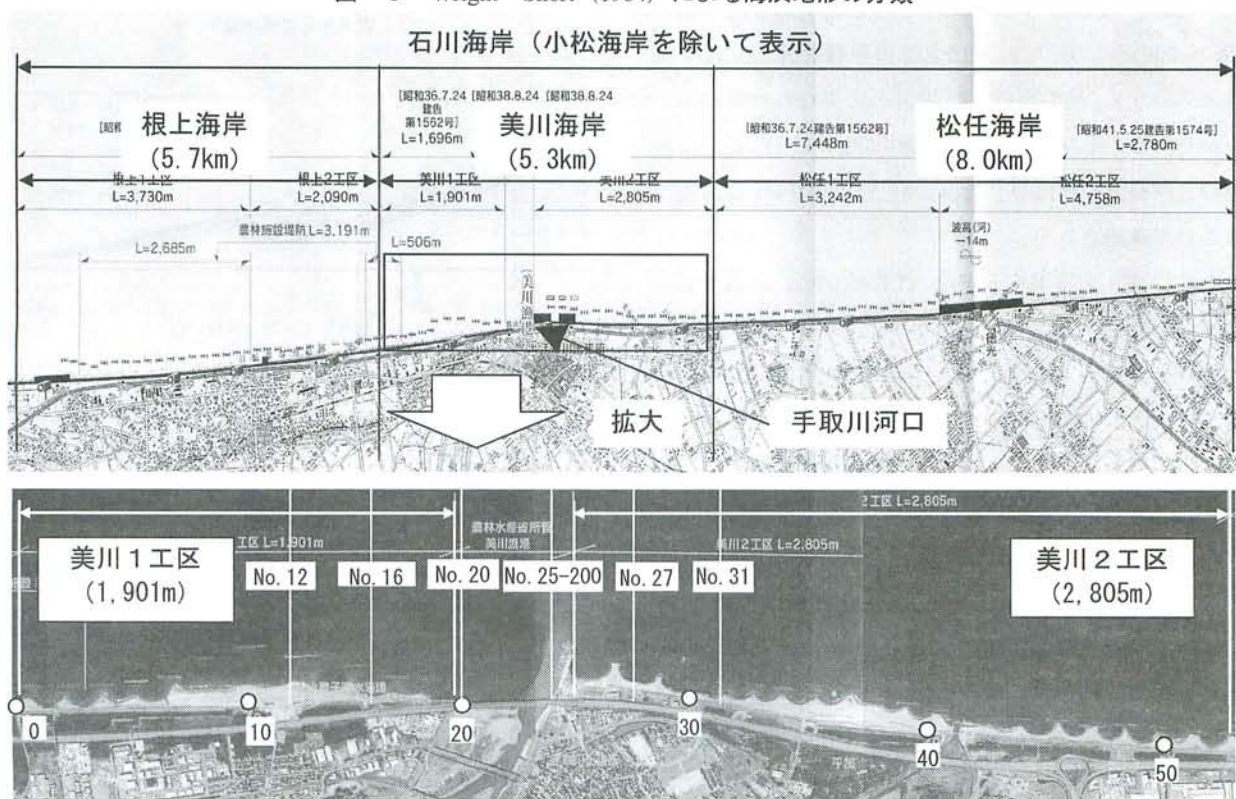


図-6 石川海岸（美川地区）および解析対象測線位置の概要

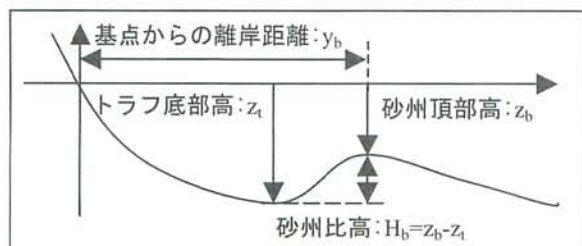


図-7 砂州諸元の定義

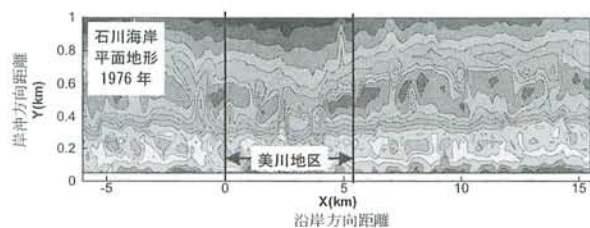


図-8 石川海岸における沿岸砂州の発達例



### (1) 砂州断面形状の基本特性

対象海域とその周辺を含む石川海岸における沿岸砂州の発達例を図-8に示す。この例では、基点から300～600m程度の沖合に大規模な沿岸砂州が発達している。図-9では、対象領域内の5測線について、断面地形の経年変化を示した。いずれの測線についても、複数の砂州の存在と活発な移動が確認できる。対象領域全域において、砂州は多くの場合2段であり、最多で4段の場合が確認された。このうち、沖側砂州の頂部位地は、手取川左岸側の美川1工区(No.12, 16, 20)では、基点からの離岸距離およそ400～700m、右岸側の美川2工区(No.27, 31)では300～500mの範囲で移動している。手取川河口内の測線(No.25-200)については、出水等の影響を直接受ける度合いが大きいため、他の測線とは明らかに異なる特徴を示す年次があるが、基点からの離岸距離800mより沖側では他の測線と同様、砂州は存在せず、海底勾配約1/100程度であることが確認された。

図-10には、朔望平均干潮位(T.P.+0.01m)を基準とした砂州頂部高と比高との関係を示す。美川1工区では、沖側砂州(砂州頂部の離岸距離 $y_b > 400\text{m}$ )の比高は、頂部水深3.5m周辺(離岸距離約450mに相当)で、最大5m程度の大規模なものとなっている。なお、砂州の比高は、最初、沖へ移動するにつれて大きくなり、ある距離で最大となった後に減少する。これは、既往の報告(たとえば、大森ら、1971)とも一致する。一方、岸側砂州については、頂部水深2～4m(離岸距離約170m)付近に比高の弱いピークが見られる。なお、各測線における比高の最大値は、およそ、3.5mから5.0mの範囲で推移しており、美川1工区全域で大規模な砂州が発達していることを確認している。美川2工区では、沖側砂州(砂州頂部の離岸距離 $y_b > 300\text{m}$ )の比高は、頂部水深4.5m周辺(離岸距離約400～450mに相当)で、最大4m程度となっており、美川1工区の最大値より1割程度小さい。離岸距離の変化に伴う砂州比高の変化の特徴は、美川1工区に見られる特徴と一致している。一方、岸側砂州については、美川1工区のようなピークは無いものの、頂部水深2.5m(離岸距離約180m)付近で最大4m程度と沖側砂州と同程度の規模のものも見受けられる。各測線における比高の最大値は、およそ、3.7mから3.9mの範囲で推移している。

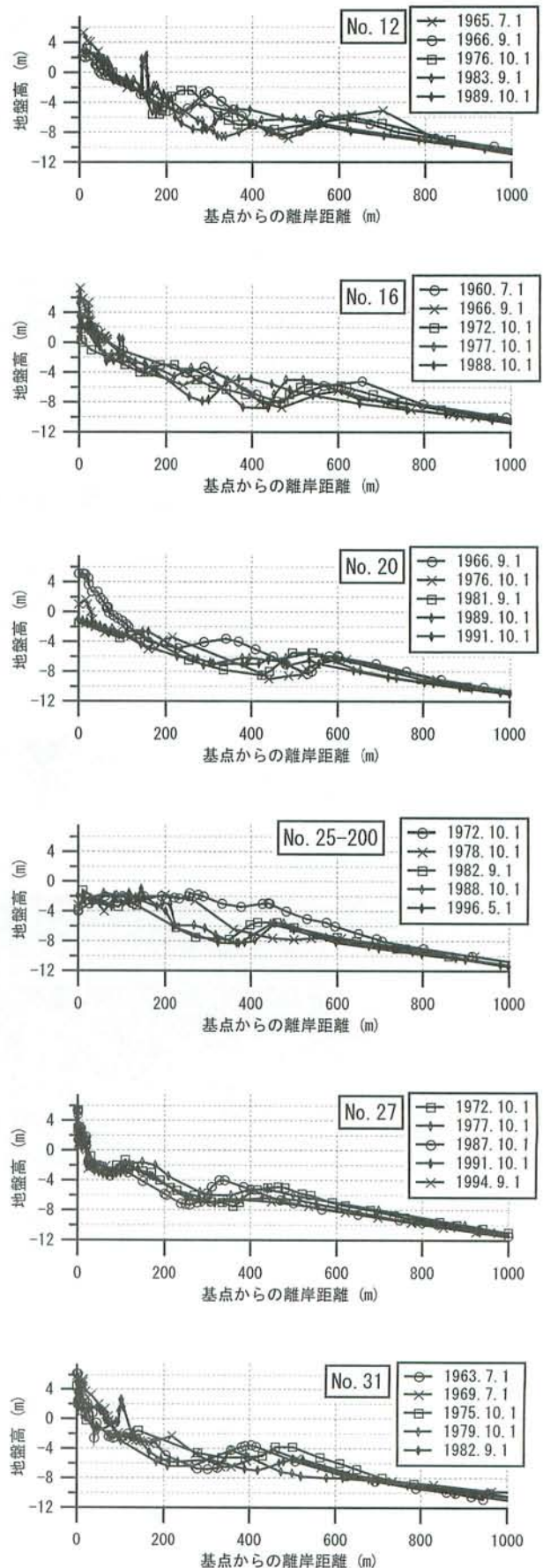


図-9 各測線の断面変化



次に、砂州頂部高とトラフ底部高の関係を図-11に示す。両者間の回帰直線の勾配は、対象領域全体で1.38、美川1工区で1.40、美川2工区では1.38であり、いずれも米国西海岸に対して報告されている値(=1.69)(Keulegan, 1945)、および、石川海岸松任地区に対して示された値(=1.51)(由比ら, 2005)より小さく、大森ら(1971)が日本の沿岸に対する平均値として示した値(=1.47)を若干下回る結果となった。

## (2) 砂州離岸距離の経年変化

図-12は、各測量年で観測されたすべての砂州について頂部離岸距離をプロットし、砂州位置の経年変化を美川

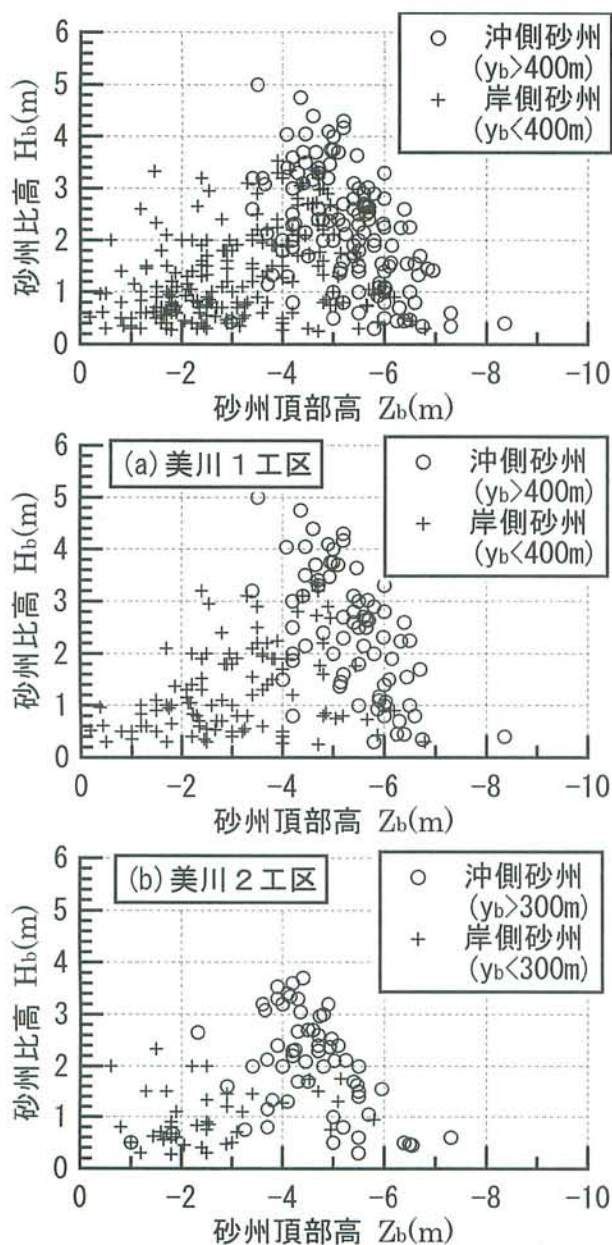


図-10 砂州比高と頂部高

1工区、2工区別に表示したものである。沖側の砂州は約8~10年前後の周期で変動しており、観測期間中に約4周期の変動が確認できる。この図において、1960年代および1970年代前半の変動は、その範囲や形態が類似している。しかしながら、この後(特に1980年代以降)、特に美川1工区において、沖側砂州の移動範囲は縮小している。この砂州存在範囲縮小に関与した要因の1つとして、同時期に美川工区において、積極的に離岸堤群の建設が行われ、海浜土砂が離岸堤背後のトンボロ形成のために捕獲されて(図-4参照)、土砂収支の局所的バランスが崩壊したことが考えられる。また、1970年代~1980年代半ばにかけて、河川砂利採取やダム建設等の影響で石川海岸の海岸土砂量が急減したこと(由比ら, 2005)等の、より広域的な人為インパクトの影響も考慮する必要がある。

図-13は、砂州比高の経年変化を示したものである。前述したように、沿岸砂州は岸沖方向に周期的に変動し、その過程において、離岸距離400m付近で最大の比高を取る。また、比高が極小となるのは、沖側の砂州が最も岸寄りに位置する時期と符合する。また、図-10に関して論じたように、この図からも、砂州の比高は美川1工区の方が美川2工区よりも発達していることがわかる。この手取川河口に対する非対称性は、1980年代前半まで顕著である。しかしながら、それ以降の砂州比高は両工区で同程度となり、2000年以降は逆に美川2工区の方が砂州比高大くなる傾向が見受けられる。

## 3. おわりに

本研究では、石川海岸周辺の広域流砂系に関する研究の一環として、美川地区(手取川河口部)における沿岸砂州の長期変動特性に関する初期検討を行った。その主要な成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 42年間の測量データを6測線について解析し、計343個の砂州を抽出した。領域全域で砂州は一般に多段であり、沖側砂州は、最大で5m程度の比高を持つ大規模な形へと発達することが確認された。
- (2) 対象領域内の沿岸砂州は、8~10年前後の周期で移動し、観測期間中に約4周期の変動が確認された。沖側砂州の移動範囲は、1980年代以降、特に手取川左岸側で縮小した。この要因の1つとして、離岸堤の建設や海岸土砂量の急激な減少など、人為的インパクトの影響が

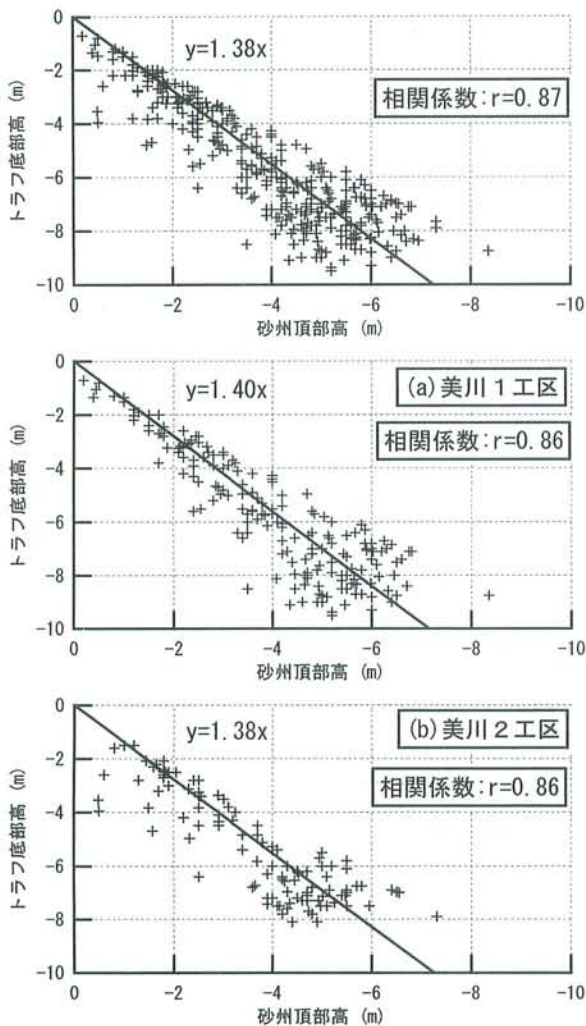


図-1 1 砂州頂部高とトラフ底部高

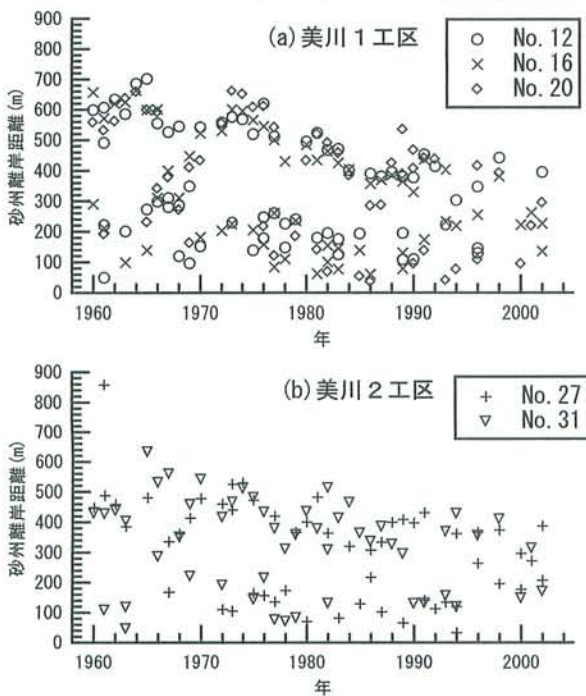


図-1 2 砂州離岸距離の経年変化

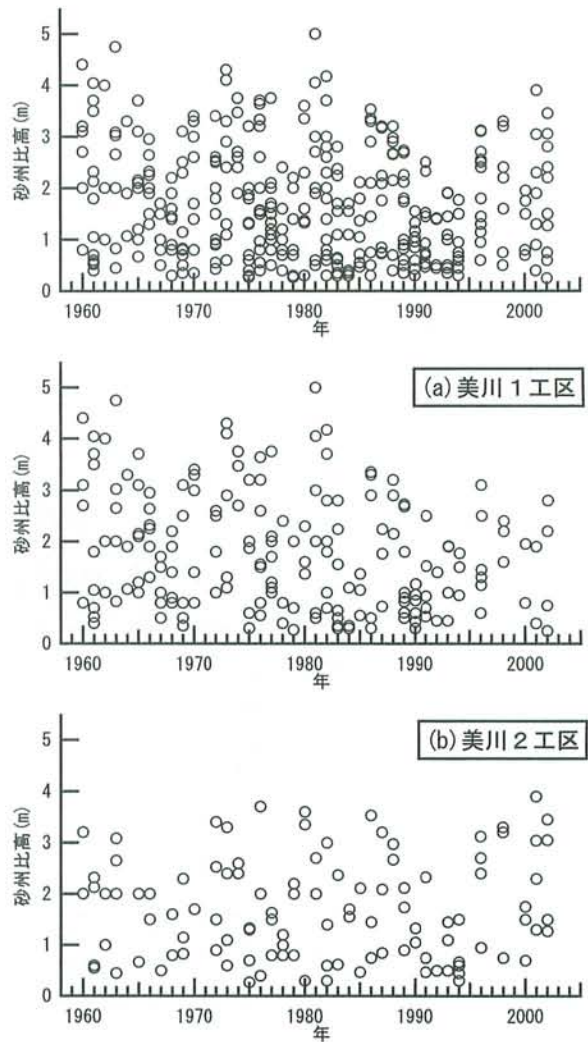


図-1 3 砂州比高の経年変化

示唆された。

(3) 砂州比高の最大値及び砂州の岸沖方向移動範囲は河口に対して非対称で、1980 年代前半までは、いずれについても河口左岸側の方が大きいことが確認された。一方、1980 年代半ば以降は、河口兩岸の非対称性は弱まり、岸側方向移動距離は同程度になり、砂州比高に関しては河口右岸側の方が大きくなる傾向が見られた。

以上、本論文では、沿岸砂州変動に関して、砂州断面形状の基本特性や、離岸距離の経年変化等、測量データから直接算定可能な基本特性について検討した。今後、経験的固有関数法 (EOF) などを用い、沿岸砂州の周期変動に寄与する特徴的モードの抽出を試みるなど、変動特性のより詳細な把握を図っていきたい。



## 参考文献

- 1) 宇多高明・弘田英人・三波俊郎(2001) : 郷土史に基づく南部石川海岸の侵食原因調査, 海洋開発論文集, 第 17 巻, pp.571-576.
- 2) 由比政年・中谷 健・石田 啓・山内正彦・二俣 秀・高橋至(2004) : 手取川河口周辺の海底地形変化に対する河川土砂供給の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.576-580.
- 3) 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道(1996) : 石川海岸の沖合における漂砂機構, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.551-555.
- 4) 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道・浅野剛(1997) : 石川海岸における漂砂機構, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp.661-665.
- 5) 二木 渉・高橋 至・高木利光・有村盾一・高木 栄(2004) : 石川海岸徳光地先の大型離岸堤の効果追跡調査, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.481-485.
- 6) Wright, L.D. and A.D. Short(1984) : Morphodynamic variability of surf zones and beaches : a synthesis, Marine Geology, Vol.56, pp.93-118.
- 7) 由比政年・山田文彦・榎田真也・石田 啓(2006) : 石川海岸松任地区における沿岸砂州の長期変動特性, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.566-570.
- 8) 大森昌衛・茂木昭夫・星野通平(1971) : 浅海地質学, 東海大学出版会, 445p.